

医用钴铬钼合金车削加工参数试验研究

程金

威高骨科材料股份有限公司, 山东威海, 264200;

摘要: 以医用钴铬钼 (Co-Cr-Mo) 材料车削加工为研究目的, 提高车削刀具的耐用度作为研究, 在分析钴铬钼材料的特性基础上, 从刀具材质、切削用量三要素等方面进行试验研究, 实现车削刀具在加工钴铬钼材料时的合理选用及切削用量的优化选择。

关键词: 医用钴铬钼; Co-Cr-Mo; 车削加工; 刀具耐用度

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 05. 019

引言

不锈钢、钛合金等金属材料凭借其优良的力学性能, 在医疗器械领域占据着重要地位。应用于骨科领域的钴合金材料主要是钴铬钼合金, 主要集中于骨关节假体^[1]。目前, 钴铬钼合金日益受到国内外企业的青睐, 其高硬度、高耐磨性是首先解决的关键问题。

1 生物医用材料概述

近年来, 随着国内医疗器械行业高速发展及生物医学材料的不断突破, 对生物医用材料的研究也日益加深。生物医用材料按性质和组成主要分类如下: 生物医用高分子材料, 如医用聚醚醚酮 (PEEK); 生物医用金属材料, 如钛合金 (Ti6-Al4-V) 等。通常要求为: 生物相容性较高、材料在体液中的耐腐蚀性较高、材料的力学性能好。金属材料一般包括纯金属材料 (如纯钛 Ti) 和合金材料 (如 TC4), 是用于人体内的生物惰性材料, 需要具有较高的抗疲劳性、耐腐蚀性、机械强度及生物安全性, 还需要具有良好的生物力学性能和相关的物理性能^[2]。

1.1 钴铬钼合金材料特性

生物医用钴基合金通常是指钴铬合金, 主要分为两类: 一类是 Co-Cr-Mo 合金, 主要是铸造材料; 另一类是 Co-Ni-Cr-Mo 合金, 主要用来锻造精密的植入器件^[3]。钴铬钼合金 (Co-Cr-Mo) 具有优异的耐磨性, 良好的力学性能与生物相容性, 在生物医用领域如骨科植入物与口腔义齿中得到广泛的临床应用。含铁较多的合金易引起体液的反应及局部的电解质变化, 而钴铬钼材料不含铁的合金, 在体液环境下具有良好的稳定性^[4]。钴铬钼合金比钛合金机械强度更高, 因此比钛合金更难加工, 同等条件下刀具寿命会缩短近 1/3。该材质多用于人工

关节的关节柄、股骨髁等重负载部分及脊柱钉棒、螺钉等微小部件, 耐磨使用寿命长。

在关节领域, 钴铬钼材质凭借优异的性能目前已应用于公司人工髋关节、膝关节假体等需要长时间磨损及重负载的关键植入物。在脊柱领域, 虽然钛合金技术在脊柱矫形修复方面已经较为成熟, 但国外美敦力等领先的骨科制造商, 研发的钴铬钼材质脊柱钉棒系统, 已经应用到临床上并取得了良好的效果。如河南大学附属郑州市骨科医院脊柱侧弯科, 采用的自主设计钴铬钼多向滑动生长棒 (CMSG) 技术治疗 EOS 患儿, 疗效满意^[5]。

1.2 钴铬钼合金切削特点

钴铬钼合金的优异性能源于钴基体的晶体学特征, 铬和钼的固溶强化效应、形成的碳化物硬化相以及铬产生的抗腐蚀性。

弹性模量是描述材料抵抗弹性变形的能力关键参数, 主要体现在材料的耐磨性。钴铬钼合金的高弹性模量与高硬度, 使其极难加工, 因此作者通过最近工作中关于钴铬钼棒材的机加工, 对于相应刀具、参数进行试验。

钴铬钼合金加工问题主要围绕高弹性模量与高硬度。

(1) 加工硬化: 钴铬钼合金在加工过程中容易受到加工硬化的影响, 导致加工时产生的热量很高, 这对加工刀具的性能提出了很高的要求。

(2) 高硬度: 这种材料具有较高的硬度, 因此在加工过程中需要使用高性能的切削工具和合适的切削参数, 以防止刀具过度磨损和断刀的情况发生。

(3) 高热量的产生: 钴铬钼合金在加工过程中会产生大量的热量, 需要使用润滑剂或冷却剂来加强切削润滑和散热。

2 切削用量对车削的影响

在一般的金属切削加工中,容易出现材料变形、刀具磨损甚至崩裂、工件表面粗糙度差等问题。一般切削速度为 70m/min,进给速度为 0.4mm/r,切深为 0.3mm 时,PCD 涂层刀具的耐用度仅为 0.4min;当切削速度为 50m/min,进给速度为 0.2mm/r,切深为 0.2mm 时,PCD 涂层刀具的耐用度可达 8min,提高了 20 倍。因此合理选择切削用量,是攻克钴铬钼合金高效切削加工必备条件之一。

钴铬钼合金棒用于脊柱钉棒系统,在车削加工时,往往需要较大的材料去除量。如何在粗加工阶段提高加工效率,在精加工切削中获得较好的表面粗糙度,已成为钴铬钼合金加工中一个迫切需要解决的问题。

2.1 切削三要素之间关系

本文以公司钴铬钼合金棒车削加工性作为研究目标,首先分析材料的相关特性,以提高切削刀具的耐用度,通过改变切削速度、进给量、切削深度进行车削加工试验研究。尽量实现刀具及切削用量的选用组合,在保证加工质量前提下,获得较高的刀具耐用度,提高切削效率,降低不良成本,为公司降本增效实现经济目标,为企业可持续发展提供支持。实际运行过程中,由于所输送棒料的形状特点及其受力特点,在主轴高速回转下,棒料容易发生挠曲变形^[6]。现场加工试验条件:

机床型号:CKA6136 数控车床

刀具:京瓷(KYOCERA)刀片,DCGT 11T302FR-J,PVD 涂层硬质合金,菱形 55°,R 角为 R0.2。

工件材料:钴铬钼(Co-Cr-Mo)棒材,直径 10mm。

切削三要素:切削深度 A_p 、进给量 F 、切削速度 V_c 。

切削速度计算公式: $V_c = N \pi D / 1000$

N 一车床主轴转速, r/min;

V_c 一切削速度, m/min

D 一工件待加工表面直径, mm。

实际生产中,往往是已知工件直径,并根据工件材料、刀具材料和加工性质等因素来选择切削速度,再依切削速度求出主轴转速 N ,以便调整机床主轴转速,以上公式可改写成: $N = 1000 V_c / (\pi D)$

2.2 切削泰勒公式

钴铬钼合金材料的切削参数可通过切削的刀具耐用度、加工表面粗糙度等方面来衡量。美国工程师泰勒提出的切削速度 V 与刀具耐用度 T 之间的关系为 $VeXn = C$ 。 V_c 表切削速度, T 表切削时间, n 表刀具材料的强度

系数, C 表常数。泰勒公式是切削速度与刀具使用寿命之间的关系重要依据。

3 单因素方法研究切削三要素

单因素法研究金属切削三要素,通过切削速度、切削深度、进给量对钴铬钼合金棒材的切削加工进行组合实验。改变其中的某一要素,可组合出不同的切削参数工艺组合。试验选定切削参数主要是为了提高生产效率,保证切削过程的相对稳定。因此,在试验过程中会提高粗车加工的主轴转速,增大进给量,增加切削深度。

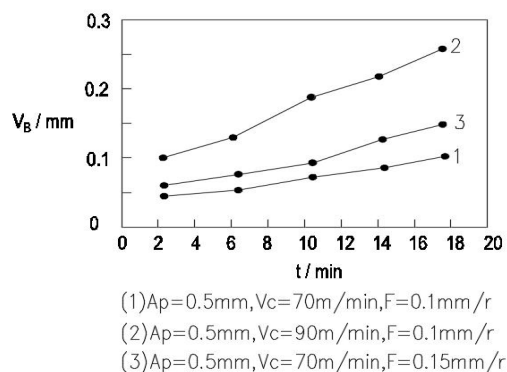


图1 不同切削参数刀具磨损与时间曲线

由图可知,在一定切削范围内,刀具磨损会随时间呈线性递增,随着切削速度和进给速度的增加而持续增加。

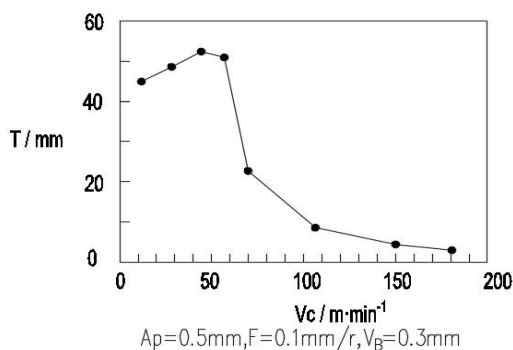


图2 刀具耐用度与切削速度的曲线

由图可知,切削速度低于 60m/min 时,刀具寿命稳定。当切削速度超过 60m/min 后,刀具耐用度突然下降。

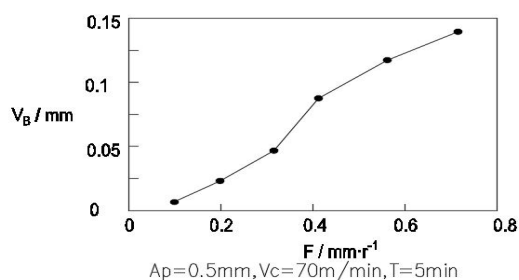


图3 刀具磨损与进给速度的曲线

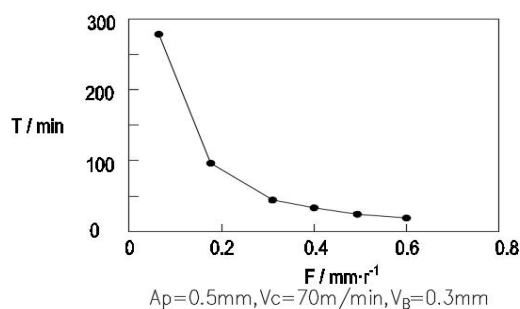


图 4 刀具耐用度与进给速度的曲线

由上图可知, 刀具耐用度与进给量之间类似刀具耐用度与切削速度之间的关系。

单因素车削试验研究表明: 切削速度对刀具耐用度影响最大, 进给量其次, 背吃刀量影响最小。这与三者对切削温度的影响规律是相似, 证明了切削用量对刀具磨损和刀具耐用度的影响是通过切削温度起作用的。切削加工时切削温度随着切削速度的提高而急剧增高, 加大进给量也使温度增高, 但其影响比切削速度要小。加工时, 高切削速度会使切削刀具剧烈磨损。切削厚度和刀具与材料接触面积随着进给量的增大而增大, 进给量增大, 切屑变形抗力增大, 刀具摩擦加剧, 需要更大的切削力才能使材料脱离工件, 加剧了刀具的不稳定性, 使刀具振动增大^[7]。

通常在选择切削速度和吃刀量时, 切削温度维持在 800℃ 左右, 即进给量 F 为 0.1~0.4mm/r 时, 切削速度 V 为 40~60m/min。试验表明: 当 $A_p=0.5\text{mm}$, $F=0.1\text{mm/r}$ 时, 最佳切削速度为 60m/min。表面粗糙度主要受切削速度、进给量及背吃刀量这 3 个车削参数的影响。因此在切削不同材料时, 应合理选取车削参数。^[8]

综合三种切削参数对刀具切削过程中的切削力及切削温度的影响可以看出, 刀具的切削力和切削温度是影响刀具磨损的重要指标, 切削过程中的刀具切削力和温度越大, 刀具磨损越严重^[9]。现在有限元仿真的应用科有效的减少试验成本, 为加工参数的优化设计提供理论指导。^[10]

4 结语

本文作者从事多年车铣复合编程, 对钛合金、钴铬钼等材料的车削加工有丰富经验。在当前在骨科耗材领域, 材料的选择是一个新的前沿点。而钴铬钼材质恰恰弥补了钛合金的某些力学性能, 尤其是在弹性模量与硬度方面, 材料硬度与强度基本上呈等性关系。钴铬钼合

金的这两种特性也导致常规刀具无法胜任车削, 经过试验在保证车削表面质量前提下, 刀具使用寿命也得到大幅提高, 这离不开理论学习与现场操作实践相结合。公司资源丰富, 各种型号的车床、原材料都较为齐全。成熟的工艺与检验规范使得在试验相关参数时, 也能事半功倍。

当前骨科医疗器械行业正逐步实现集采, 量大利微是摆在公司面前的一大现实。材料方面, 短期内难有较大的材料方面突破。是通过对钴铬钼合金车削参数的试验研究, 总结出一套适合公司当前的标准参数, 在保证产品质量的前提下, 降低生产制造费用, 缩减刀具成本, 实现企业可持续发展。

参考文献

- [1] 郑凯, 于秀淳, 郭征, 等. 生物金属材料在骨科的应用及发展[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2013, 10 (2): 31.
- [2] 王慎东. 骨科生物医学材料的临床应用[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16 (38): 7194-7195.
- [3] 郑玉峰, 李莉, 生物医用材料学[M], 西北工业大学出版社, 2015.
- [4] 李晓光. 钴铬钼合金的体内稳定性试验[J]. 中国矫形外科杂志, 2013, 21 (22): 2309.
- [5] 朱峰, 宋相建. 钴铬钼多向滑动生长棒治疗早发性脊柱侧弯[J]. 临床骨科杂志, 2025, 28 (3): 342.
- [6] 崔鑫伟, 李金良, 于冲, 等. 车床自动送料机构的棒料振动变形分析[J]. 重型机械, 2018, 6: 64.
- [7] 张峰, 李金泉. TC4 钛合金切削过程刀具振动影响因素研究[J]. 工具技术, 2025, 59 (2): 32.
- [8] 王运, 张昌明, 张昱, 等. 车削参数对难加工材料表面粗糙度的影响及参数优化[J]. 现代制造工程, 2021 (2): 98.
- [9] 宋新华, 高红旺, 田正芳, 等. Ti6Al4V 钛合金切削加工的数值模拟[J]. 工具技术, 2020, 54 (7): 43.
- [10] 刘文韬, 刘战. 钛合金 Ti-6Al-4V 高压冷却车削过程有限元分析[J]. 现代制造工程, 2018, 10: 45.

作者简介: 程金 (1985—5 月), 男, 山东省威海市, 汉族, 本科, 中级工程师, 工艺工程师, 医疗器械工艺流程设计, 医疗器械工艺设计。